



УДК 621.436

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА ВО ВПУСКНОЙ СИСТЕМЕ ПОРШНЕВОГО ДВС В СТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ**NUMERICAL SIMULATION OF GAS DYNAMICS AND HEAT TRANSFER IN THE INTAKE SYSTEM OF THE PISTON ICE IN STATIONARY CONDITIONS**

Мисник Мария Олеговна, бакалавр каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: misnikmariya@yandex.ru, Тел.: +7(912)644-75-49

Плотников Леонид Валерьевич, канд. техн. наук, доцент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: leonplot@mail.ru. Тел.: +7(922)291-64-50

Mariya O. Misnik, Bachelor, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: misnikmariya@yandex.ru, Тел.: +7(912)644-75-49

Leonid V. Plotnikov, Candidate of technical Sc., Associate Prof., Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: leonplot@mail.ru. Ph.: +7(922)291-64-50

Аннотация: В данной статье представлены результаты численного моделирования газодинамики и теплообмена во впускных системах разной конфигурации применительно к поршневым двигателям. Показано, что поперечное профилирование впускного трубопровода приводит к существенному изменению структуры течения во впускной системе, стабилизации течения (сокращению застойных зон, выравниванию поля скоростей) во впускной системе и цилиндре ДВС, снижению интенсивности теплоотдачи вплоть до 15 % при скоростях потока воздуха до 40 м/с и росту интенсивности теплоотдачи до 5 % при высоких скоростях.

Abstract: The results of numerical simulation of gas dynamics and heat transfer in the intake systems of different configurations with respect to the piston engine are presented in this article. It is shown that the transverse profiling of the intake pipe leads to a significant change of flow structure in the intake system, stabilization of the flow (reduction of stagnant zones, leveling velocity field) in the intake system and the cylinder of the piston engine, reduce the intensity of heat transfer up to 15 % with flow velocities up to 40 m/s and increase the intensity of heat transfer up to 5% at high speeds.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания; численное моделирование; профилирование впускного трубопровода; структура течения газов; поле скоростей.

Key words: internal combustion engine; numerical modeling; profiling of the intake manifold; structure of gas flow; velocity field.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что от газодинамического совершенства впускных систем зависит эффективность работы поршневых ДВС [1-3]. Основное направление улучшения показателей качества газообмена состоит в снижении гидравлического сопротивления за счет стабилизации потока и уменьшения влияния отрывных зон на течение газов во впускной системе. При этом другой важной задачей в области двигателестроения является исследование теплообмена во впускной системе, поскольку от величины подогрева воздуха в процессе впуска зависит массовое наполнение цилиндра.

Для улучшения показателей качества газообмена необходимо усовершенствовать впускную

систему, например, за счет изменения геометрии впускного трубопровода. Для предварительной оценки влияния профилирования элементов данной системы поршневого ДВС используется численное моделирование в стационарных условиях. Это позволит определить целесообразность детального исследования процессов на натурных экспериментальных установках (двигателях) в условиях нестационарности.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования структуры и теплообмена потока при течении газа в трубах с разными конфигурациями был разработан ряд численных моделей на базе программного комплекса STAR-CCM+. В качестве рабочей среды использовался

сухой воздух, двигающийся в турбулентном режиме со средней скоростью в диапазоне от 10 до 100 м/с. На входе в модель задавалась скорость потока воздуха, выход определялся как выход под давлением равным барометрическому. Для моделирования турбулентного течения использовалась k-ε модель турбулентности. Задача решалась в стационарной постановке.

В данной работе были исследованы впускные системы с профилированными участками с поперечным сечением в форме равностороннего треугольника. Он составлял приблизительно 30 % от общей длины системы впуска. Для всех конфигураций трубопроводов эквивалентный (гидравлический) диаметр d_h по всей длине канала равнялся 32 мм (диаметр впускного окна в головке цилиндра). На рис. 1 представлены конфигурации исследуемых системы впуска ДВС с впускным трубопроводом с участком, имеющим поперечное сечение в форме равностороннего треугольника и закрученного треугольника.

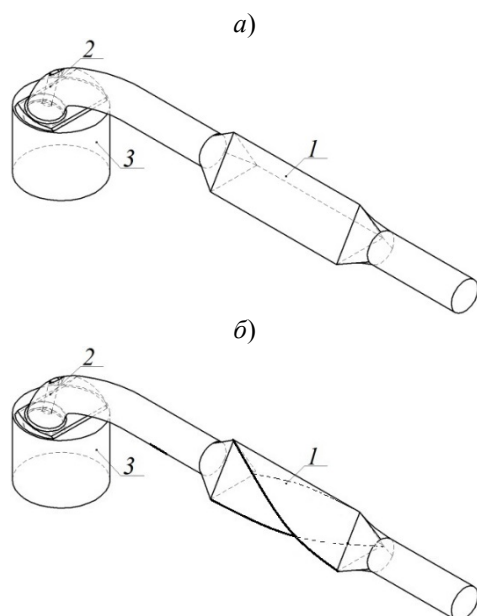


Рис. 1. Конфигурация впускной системы ДВС:
1 – профилированный трубопровод; 2 – впускной клапан; 3 – цилиндр двигателя
Форма сечения: а) равносторонний треугольник;
б) закрученный треугольник

СТРУКТУРА ПОТОКОВ ПРИ ТЕЧЕНИИ ГАЗА ВО ВПУСКНОЙ СИСТЕМЕ ДВС

За исходную базу были приняты результаты моделирования для впускной системы поршневого ДВС с впускным трубопроводом постоянного круглого сечения [4]. В качестве примера отдельные результаты моделирования для данного случая показаны на рис. 2, а. Видно, что во впускной системе с трубопроводами постоянного круглого сечения образуется несколько застойных зон, что согласуется с данными [1]. Одна из застойных зон образуется в канале головки

цилиндра за стержнем клапана вблизи втулки. Вторая зона (кольцевая) наблюдается в области тарелки клапана. При этом следует отметить, что скорость потока воздуха в клапанной щели превышает 100 м/с. Это также может оказать отрицательное влияние на наполнение цилиндра, поскольку высокие значения скорости потока воздуха приводят к росту гидравлического сопротивления системы.

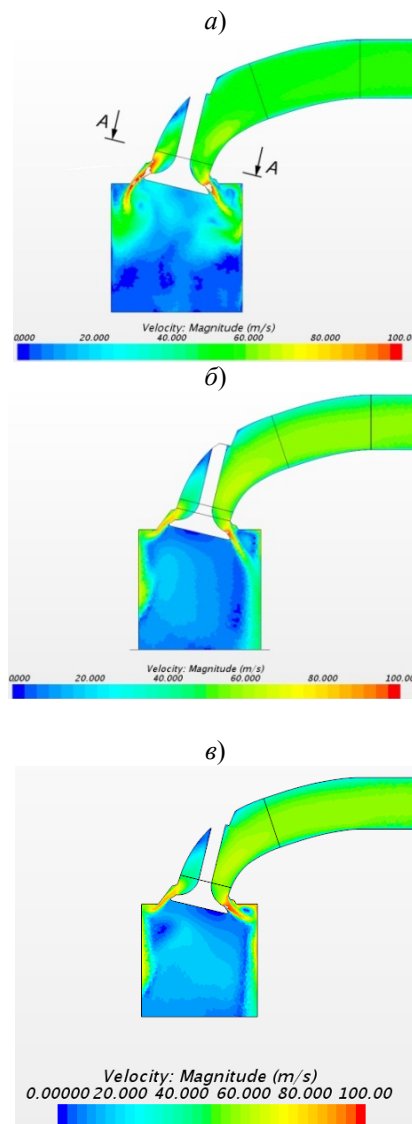


Рис. 2. Визуализация течения во впускной системе с трубопроводом различной формы поперечного сечения в виде поля скоростей при исходной скорости потока 50 м/с:

Форма сечения: а) круг; б) равносторонний треугольник; в) закрученный треугольник

По полученным данным можно говорить, что во впускной системе с профилированным участком в форме треугольника уменьшилась застойная зона за штоком впускного клапана, сокращены области застойных зон в цилиндре двигателя. Поле скоростей внутри цилиндра стало более равномерным. Вероятно, это связано со

стабилизирующем влиянием продольных вихревых структур (вторичных течений), образующихся в углах трубопроводов с поперечными сечениями в форме треугольника [5]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что установка профилированного участка во впускном трубопроводе приводит к стабилизации течения в системе впуска и снижению влияния на поток отрывных зон, за счет сокращения площади последних (рис.2, б).

Следует отметить, что влияние профилированного участка с поперечным сечением в форме закрученного треугольника также приводит к стабилизации течения, но с более ярко выраженным эффектом (рис 2, в).

Известно, что основные газодинамические потери во впускной системе возникают в клапанной щели и вблизи нее. Поэтому в данной работе производилась оценка влияния конфигурации впускного трубопровода (наличия профилированного участка) на структуру потока вблизи клапанной щели. Результаты представлены на рис. 3 в виде изотоп и касательных векторов скорости, спроектированных в сечение А-А (см. рис. 2, а) также при скорости потока $w = 50$ м/с.

Из рис. 3 видно, что структура потока вблизи клапанной щели значительно отличается при разных конфигурациях впускного трубопровода. Наиболее существенные вихревые явления наблюдаются во впускной системе с трубопроводом постоянного круглого поперечного сечения (рис. 3, а).

На рис. 3, б и в, наблюдается стабилизация течения вблизи клапана, которая выражается в уменьшении зоны вихревых течений и меньшем градиенте скорости в перерезном сечении. Аналогичные эффекты наблюдаются при установке во впускной системе профилированного участка с треугольным и закрученным треугольным поперечным сечением. Следует отметить, что максимальные значения скорости потока воздуха вблизи клапанной щели во впускной системе с постоянным круглым поперечным сечением составляют около 86 м/с, тогда как в системах с профилированными участками с треугольным и закрученным поперечными сечениями около 67 м/с.

Таким образом, можно заключить, что профилирование впускного трубопровода оказывает положительное влияние на структуру потока в клапанном узле. Происходит уменьшение зоны вихревых течений, выравнивание поля скоростей и снижение максимальной скорости потока на величину до 22 %.

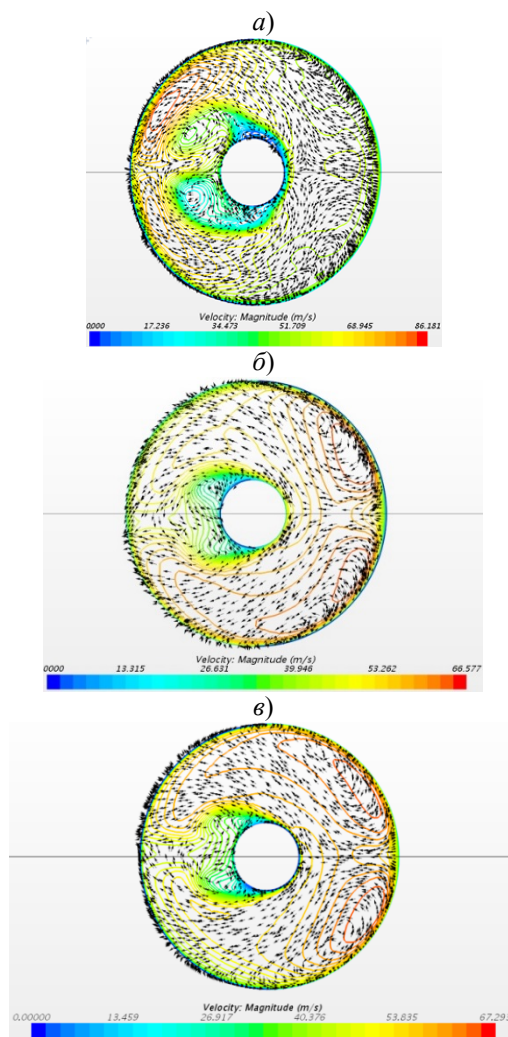


Рис. 3. Визуализация течений в клапанной щели для впускных систем с трубопроводами разного поперечного сечения в виде изотоп и касательных векторов скорости, спроецированных из разных сечений, при исходной скорости потока 50 м/с
Форма сечения: а) круг; б) треугольник; в) закрученный треугольник

ТЕПЛОТДАЧА ПРИ ТЕЧЕНИИ ГАЗА ВО ВПУСКНОЙ СИСТЕМЕ ДВС

Оценка влияния поперечного профилирования впускного трубопровода на теплообмен газовых потоков производилась для тех же условий (описанных выше) и конфигураций впускной системы поршневого ДВС.

На рис. 4 представлены зависимости коэффициентов теплоотдачи α от скорости потока воздуха w во впускном трубопроводе с профилированными участками с разными поперечными сечениями.

Из рис. 4 видно, что при использовании впускного трубопровода с участком с треугольным поперечным сечением при низких скоростях потока воздуха (до 40 м/с) наблюдается снижение интенсивности теплоотдачи, которое достигает 8 % при 10 м/с (по сравнению с впускной

системой постоянного круглого поперечного сечения). При увеличении скорости течения свыше 40 м/с, наоборот, происходит рост интенсивности теплоотдачи на величину до 2 %.

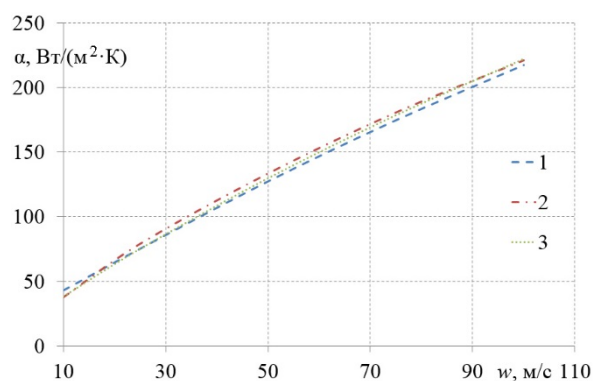


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплоотдачи α от скорости потока воздуха w во впускном трубопроводе с профилированными участками с разными поперечными сечениями: 1 – круг; 2 – треугольник; 3 – закрученный треугольник

Аналогичный эффект был установлен и для впускной системы с профилированным участком с закрученным треугольным поперечным сечением. При скоростях потока воздуха до 25 м/с наблюдается снижение интенсивности теплоотдачи, которое может достигать 14 % (по сравнению с впускной системой постоянного круглого поперечного сечения). В диапазоне скоростей потока от 25 до 100 м/с также происходит рост интенсивности теплоотдачи вплоть до 5 %.

По-видимому, данное явление связано с газодинамической перестройкой структуры потока на скорости около 20-40 м/с. Для более четкого объяснения выявленного эффекта необходимы дополнительные исследования.

Таким образом, использование профилированных участков во впускной системе поршневого ДВС приводит к снижению интенсивности теплоотдачи при низких скоростях потока (при низких частотах вращения коленчатого вала двигателя), что будет способствовать лучшему наполнению цилиндра на этих режимах. И наоборот, при использовании профилированных участков во впускной системе ДВС приводит к незначительному росту интенсивности теплоотдачи на высоких частотах вращения коленчатого вала, что приведет к лучшему испарению топлива и, соответственно, лучшему

смесеобразованию и сгоранию топлива в цилиндре двигателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, данное исследование показало, что применение во впускной системе поршневого ДВС профилированного участка с поперечными сечениями в форме равностороннего треугольника или закрученного треугольника приводит к:

- существенному изменению структуры течения во впускной системе, что сохраняется вниз по потоку вплоть до клапанной щели и цилиндра двигателя;
- стабилизации течения (сокращению площадей отрывных зон, выравниванию поля скоростей) во впускной системе, клапанной щели и цилиндре поршневого ДВС;
- снижению интенсивности теплоотдачи вплоть до 15 % при скоростях потока воздуха до 40 м/с; и росту интенсивности теплоотдачи до 5 % при высоких скоростях.

Данные эффекты должны положительно сказаться на наполнении цилиндра воздухом и, соответственно, привести к улучшению технико-экономических показателей поршневых двигателей внутреннего сгорания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драганов Б.Х., Круглов М.Г., Обухова В.С. Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания. К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. 175 с.
2. Вихерт М.М., Грудский Ю.Г. Конструирование впускных систем быстроходных дизелей. М.: Машиностроение, 1982. 151 с.
3. Жилкин Б.П., Лашманов В.В., Плотников Л.В., Шестаков Д.С. Совершенствование процессов в газоздушных трактах поршневых двигателей внутреннего сгорания: монография. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 228 с.
4. Плотников Л. В., Неволин А. М., Мисник М. О. Численное моделирование стационарных газовых потоков во впускной системе автомобильного ДВС // Современные транспортные технологии: задачи, проблемы, решения: сборник трудов Всероссийской конференции. Челябинск: Полиграф-Мастер, 2017. С. 36-43.
5. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1990. 367 с.